稻纵卷叶螟雄蛾内生殖系统形态指标在性诱测报中的应用

陈庆华[1]，曾 娟[2,*]，曾 伟[3]，李 庆[4]，陈晓娟[1]，邹 禹[5]

（1. 四川省农业科学院植物保护研究所，农业部西南作物有害生物综合治理重点实验室，成都 610066；
2. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125；3. 达川区植保站，四川达川 635006；
4. 四川农业大学植物保护学院，成都 611134；5. 金堂县农发局果树产业服务站，四川金堂 610400）

摘要：【目的】随着性信息素在稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 监测与防控中的应用越来越广泛，亟须准确判定性信息素所诱集到的雄蛾生殖发育状态，以便获取稻纵卷叶螟测报关键参数并准确评价防控效果。本研究旨在明确判定稻纵卷叶螟雄蛾内生殖系统发育状态的形态指标，进而试图依据性诱雄蛾日龄结构信息判定害虫种群发育状态。【方法】测量不同日龄的稻纵卷叶螟雄蛾精巢长半轴，形成依据精巢长半轴判断雄蛾日龄的发育标准，进而依据该标准划分田间逐日性诱的雄蛾日龄，反推出 1 日龄雄蛾逐日动态。【结果】解剖结果表明，在稻纵卷叶螟雄蛾内生殖系统各组成器官中，精巢形态稳定良好，其尺寸衰减与成虫日龄具有较好的对应关系，其中 8 日龄雄蛾精巢长半轴比 1 日龄长半轴减少 41.55%。2015 和 2016 年的田间调查结果表明，田间诱捕稻纵卷叶螟雄蛾中 1 -4 日龄雄蛾占 60% 以上，不同日龄成虫的比例曲线呈双峰形，1 和 4 日龄雄蛾分别形成第 1 和 2 次高峰。利用 2015 年四川眉山、2016 年四川自贡两地性诱雄蛾逐日日龄结构和数量，反演 1 日龄雄蛾发生动态，其结果与田间发生情况相符合。【结论】稻纵卷叶螟雄蛾精巢大小变化可以准确反映稻纵卷叶螟雄蛾日龄变化，检测雄蛾精巢可获得其相应日龄信息，有利于准确预报该虫种群动态。

关键词：稻纵卷叶螟；雄蛾内生殖系统；发育状态；形态指标；种群动态；性信息素诱捕

中图分类号：Q968 **文献标识码：**A **文章编号：**0454-6296(2017)08-0927-09

Application of the morphological indicators of the male internal reproductive system in forecasting the population dynamics of the rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) by sex pheromone trapping

CHEN Qing-Hua[1], ZENG Juan[2,*], ZENG Wei[3], LI Qing[4], CHEN Xiao-Juan[1], ZOU Yu[5] (1. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Southwest, Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; 2. National Agro-Technical Extension and Service Centre, Beijing 100125, China; 3. Plant Protection Station of Dachuan County, Dachuan, Sichuan 635006, China; 4. Department of Plant Protection of Sichuan Agricultural University, Chengdu 611134, China; 5. Fruit Industry Service Station of Agricultural Development Bureau of Jintang County, Jintang, Sichuan 610400, China)

Abstract:【Aim】The increasing popularization of the application of sex pheromone trapping in the monitoring and control of the rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis*, has also increased the necessity to distinguish the developmental status of the internal reproductive system of the trapped male adults, which, in turn, has been essential to obtaining the key forecasting indexes and evaluating the control

基金项目：公益性行业(农业)科研专项(201203036)
作者简介：陈庆华，女，1976 年 1 月生，四川崇州人，硕士，副研究员，主要从事农作物病虫草害防治研究工作，E-mail：710478145@qq.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zengjuan@agri.gov.cn
收稿日期 Received: 2017-03-07；接受日期 Accepted: 2017-06-16

effects by sex pheromone trapping. This study aims to obtain the morphological indicators of the developmental status of the male internal reproductive system of *C. medinalis* adults, and furthermore to distinguish the population developmental status on the basis of the age composition of the trapped males for sex pheromone forecasting. 【Methods】At different days post eclosion from the laboratory-cultured pupae, different organs of the male internal reproductive system of *C. medinalis* adults were dissected and measured under the microscope. A standard based on the half length of testis was developed and used to distinguish the age of male adults daily collected in sex pheromone traps. The speculated age composition of the trapped males was then used to postulate the population dynamics of the insect. 【Results】After comparing the morphology of testes, seminal vesicle, vas deferens, accessory gland and ejaculatory ducts, we found that the half length of testis reduced stably and was negatively correlated with the age in days of the cultured male adults. The semi-major axis length of testes of the male adults at the 8th day post eclosion was averagely reduced by 41.55% as compared with that in males at the 1st day post eclosion. The field data in 2015 and 2016 both showed two peaks, representing respectively the occurrence of the 1 and 4 day-old male adults, in the age composition curve of the males trapped by sex pheromones. According to the speculated age composition of the daily collected male adults in sex pheromone traps in Meishan in 2015 and Zigong in 2016 in Sichuan, respectively, the emergence dynamics of the 1 day-old male adults could be postulated, which were found to be in coincidence to the data of field investigation. 【Conclusion】The changes in the testis size of *C. medinalis* could reflect the age of its male adults. The investigation of the testis size and the consequently obtained age composition of the males could help the forecasting of the population dynamics of this pest.

Key words: *Cnaphalocrocis medinalis*; male internal reproductive system; developmental status; morphological indicators; population dynamics; sex pheromone trapping

稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 是一种迁飞性害虫,其幼虫取食并纵卷水稻叶片,大发生时可造成水稻大量减产(Fu *et al*., 2014; 杨亚军等, 2015)。1990 年后,全国范围内稻纵卷叶螟暴发频率与为害程度呈加重趋势(包云轩等, 2008; 刘宇等, 2008; 郭荣等, 2013),据统计 2010 –2015 年我国稻纵卷叶螟平均每年发生逾 1 700 万 hm^2,给水稻生产带来了巨大的损失,成为我国水稻上的重要害虫。为了有效监测稻纵卷叶螟,生产上通常采用田间赶蛾法、灯光诱蛾和卵巢解剖分析的方法预测稻纵卷叶螟的发生时期和发生程度。由于田间赶蛾法存在种类难以鉴定、计数误差、劳动强度大、难以标准化等问题(赵建伟等, 2008; 梁伟群和丘思娟, 2008; 刘万才等, 2009; 卜锋等, 2012),加之稻纵卷叶螟成虫弱趋光性,灯下诱捕数量少,无法采用测报灯对其进行有效监测,经常导致监测不到位、稻纵卷叶螟危害严重情况(姚士桐等, 2010)。近年来利用昆虫性信息素监测害虫发生动态(简称性诱测报)成为测报的重要手段。研究和生产实践表明,性诱测报具有灵敏度高、峰形清晰、小范围测报精确等优势,在国际上已广泛应用于害虫的综合治理,尤其是在鳞翅目害虫的测报和防治中应用更为普遍(Mcneil, 1991; 杜永均, 2007; Laurent and Frérot, 2007)。性诱测报最大前景在于无需人工识别害虫,利于自动监测。稻纵卷叶螟性信息素在菲律宾(Ramachandran *et al*., 1990)、印度(Rao *et al*., 1995)、日本(Kawazu *et al*., 2000, 2004)、印度尼西亚(Kawazu *et al*., 2009)、韩国(Cho *et al*., 2013)等相继得到鉴定,我国从 2000 年开始,合成了不同地理种群的性信息素,并应用于大面积监测(Wu *et al*., 2013)。性诱测报逐渐成为稻纵卷叶螟、斜纹夜蛾等弱光性害虫的主要监测手段。与赶蛾法相比,利用性信息素诱集法监测的稻纵卷叶螟蛾具有峰次多、高峰明显的特点(徐丽君等, 2013)。

稻纵卷叶螟的传统测报方法,需要利用卵巢解剖技术对雌蛾的生殖状态进行判断(张孝羲等, 1979)。性诱测报只能诱捕到雄蛾,雄蛾的生殖状态变化没有雌蛾卵巢变化明显。现有蛾类雄性生殖系统的研究主要集中在通过区分射精管的颜色、形态来判断雄性的生殖状况,如烟芽夜蛾 *Heliothis virescens*、沙棘木蠹蛾 *Holcocerus hippophaecolus*(周娇等, 2012)、茶尺蠖 *Ectropis obliqua*(张家侠等, 2015)、二化螟 *Chilo suppressalis*(宋俊元等, 2012)、墨西哥水稻螟 *Eoreuma loftini* (Spurgeon *et al*., 1994)、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*(徐博, 2012)等;但由于颜色在不同的条件下会出现较大变化,射精

管太细且容易变形,难以形成标准化的指标。因此,靠区分射精管来判断雄蛾的生殖状态,在测报工作上的实践意义不明显(石毓亮等, 1964)。研究稻纵卷叶螟雄蛾内生殖系统的各组成器官与雄蛾发育状态关系,找到一个比较可靠、量化的稻纵卷叶螟雄性内生殖发育状态判别指标,有望解决性诱测报无法通过"卵巢解剖"获得种群生殖信息的问题。本研究利用常规解剖技术对稻纵卷叶螟雄蛾内生殖系统进行了观察和结构确定,以探寻稳定的形态学指标,旨在为稻纵卷叶螟的性诱测报提供种群生殖发育信息。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

在水稻穗期采集当地二代稻纵卷叶螟,分别于2015 年 8 月中旬采自眉山市、2016 年 8 月中旬采自资阳市稻纵卷叶螟二代本地稻纵卷叶螟造成的水稻卷叶,带回实验室,挑选含稻纵卷叶螟蛹的水稻卷叶放入尼龙袋中保湿待羽化。羽化后每 12 h 收集一次成虫,将成虫按日龄分别放入内壁附有白纸的塑料饲养笼内,内放置 10% 蜂蜜水为成虫补充营养。

1.2　精巢解剖及其与体长、日龄的关系确定

利用昆虫解剖镜(Motic: Digital Microscope SMZ171),每 12 h 解剖一次并拍照,测量雄蛾体长、精巢长、短半轴等参数。

参照宋俊元等(2012)解剖方法对稻纵卷叶螟进行解剖。将待解剖试虫放入 75% 乙醇中 30 s 后取出,用解剖剪将试虫腹部剪下置于载玻片上,使其背面向上,从断口处向尾部方向撕开腹部体壁,用解剖针分离出精巢,并用胶头滴管吸取纯水洗掉多余的脂肪体和鳞片,控干水分,以待拍照。拍照格式:2 592 ×1 944;分辨率:2 592 ×1 944,目镜 2.0,拍照时将精巢长轴与图像纵边垂直,一个精巢拍 3 张照片;用相同参数对标准圆 Φ = 1 500 μm 进行拍照,将标准圆照片装入标准向导校正测量参数并保存,在该保存参数下对拍得的同样参数的照片进行测量。选择椭圆工具,对精巢测量 3 次取平均值。

1.3　稻纵卷叶螟田间诱捕及其日龄判断

田间性信息素诱捕成虫(每隔 200 m 安放一套稻纵卷叶螟性诱剂诱芯及诱捕器,诱芯和诱捕器均由宁波纽康生物技术有限公司生产):2015 年 9 月 4 日至 9 月 30 日在眉山水稻田间诱集当地 3 代稻纵卷叶螟,2016 年 9 月 5 日至 10 月 15 日在自贡再生稻田诱集当地 3 代稻纵卷叶螟。于次日一早收集并计数,将收集的活虫浸入 75% 乙醇溶液中 30 s 后取出,控干水分,存放于塑料离心管内,供当日解剖使用,解剖和测量方法同 1.2 节。

1.4　数据统计与分析

日龄划分指标:以两相邻日龄长半轴的平均值作为划分两相邻日龄的分界点,得到不同日龄雄蛾精巢长半轴长度划分指标。

日龄反演:根据每日性诱雄蛾的日龄结构,将不同日龄虫量分别倒推到 1 日龄日期,累加各日期 1 日龄蛾数,反演重构 1 日龄雄蛾动态曲线。算法:某日 1 日龄雄蛾量等于本日的 1 日龄量、次 1 日的 2 日龄量、次 2 日的 3 日龄量直至次 7 日的 8 日龄虫量之和。见下面公式。

$$A_m^1 = \sum_{n=1}^{8} A_{m+n-1}^n 。$$

式中,A 为雄蛾数量,其下标为日期,其上标为日龄。

利用 MathWorks 公司 Matlab R2014a 进行各日龄的精巢长度平均值、标准差的计算,各日龄精巢长半轴长度方差分析和多重比较及显著性检测、体长与精巢的相关系数计算。

2　结果

2.1　稻纵卷叶螟雄蛾内生殖器官特征

稻纵卷叶螟雄蛾内生殖器官组成见图 1,形态特征见表 1。解剖观察表明,精巢形态稳定、易于测量,适于作为衡量稻纵卷叶螟雄蛾生殖发育阶段的形态指标。

2.2　稻纵卷叶螟 1 日龄雄蛾体长与精巢的关系

测量资阳 1 日龄雄蛾 50 头,对精巢长、短半轴与体长进行相关分析(图 2)。结果表明,雄蛾平均体长为 8.38 ±1.01 mm,精巢长半轴平均为 429.53 ±64.97 μm,短半轴平均为 383.26 ±59.50 μm。雄成虫精巢与体长存在正相关关系,长半轴与体长的相关系数为 0.4449(P = 0.0012),短半轴与体长的相关系数为 0.4391(P = 0.0016)。

2.3　稻纵卷叶螟雄蛾精巢标准的制定

共解剖室内羽化 1 – 8 日龄雄蛾 158 头,稻纵卷叶螟雄蛾羽化后随着日龄增加,精巢长半轴呈下降趋势(图 3),羽化第 1 天精巢长半轴平均值为 443.29 μm,随着日龄的递增,精巢的长半轴逐渐变短,第 8 天精巢长半轴平均值为 259.10 μm,比第 1 天减少 41.55% ,1 – 4 日龄雄蛾精巢变化较快,各日龄组之间精巢长半轴长度差异显著。由此,划分了稻纵卷叶螟不同日龄精巢长半轴长度的范围(表 2)。

表 1 稻纵卷叶螟的雄蛾内生殖器官形态特征

Table 1 The internal reproductive organs of male adults of *Cnaphalocrocis medinalis*

器官 Organs	形态 Morphology	测量稳定性 Stability of indicators
精巢 Testis	球形或椭圆形，颜色金黄色，连接贮精囊 Golden spherical or elliptic testis joining to the seminal vesicles	具有较为固定的形态大小 Stable shape and size
贮精囊 Seminal vesicles	一对相互交叉的囊，前端与精巢连接，后端汇合成输精管 A pair of crossing sacs connecting to the testis at anterior and merging into the vas deferens at posterior	颜色和充盈度因内含物变化较大 Great changes in color and filling degree with the inclusions
输精管 Vas deferens	由贮精囊末端延伸，连接到复射精管的细管，细小柔软 The soft and fine tube extended from the end of the vesicles, connecting to the ducts ejaculatory duplex	易弯曲、断裂，长度难以测量 Bendy, breakable and difficult to measure the length
复射精管 Ductus ejaculatorius duplex	略膨大连接双管，前端与单射精管相连，后端与附腺相连，中部与输精管相连 Two expanded tubular organs, connecting at their posterior to the ductus ejaculatorius simplex, at their anterior to the accessory glands and at middle part to vas deferens	管壁较厚，脂肪粒包裹较多，不易清理，难以观察 Hard to observe for thick walls and covering fat particles
单射精管 Ductus ejaculatorius simple	一条长透明管道，折叠于腹腔内，上端由复射精管汇合而成，末端接于阳茎 A thin, transparent and long tube, connecting to the ductus ejaculatorius duplex and posteriorly to the phallus	管内蕴含物不清晰，易弯曲，长度难以测量 Bendy and difficult to measure with unclear inclusion
附腺 Accessory gland	一对细而长的管状物，一端由复射精管延伸而成，另一端封闭，管壁为白色 A pair of long, slim and white tubular organs, connecting to ducts ejaculatorius duplex and closed at their terminals	易弯曲，长度难以测量 Easy to bend and difficult to measure the length

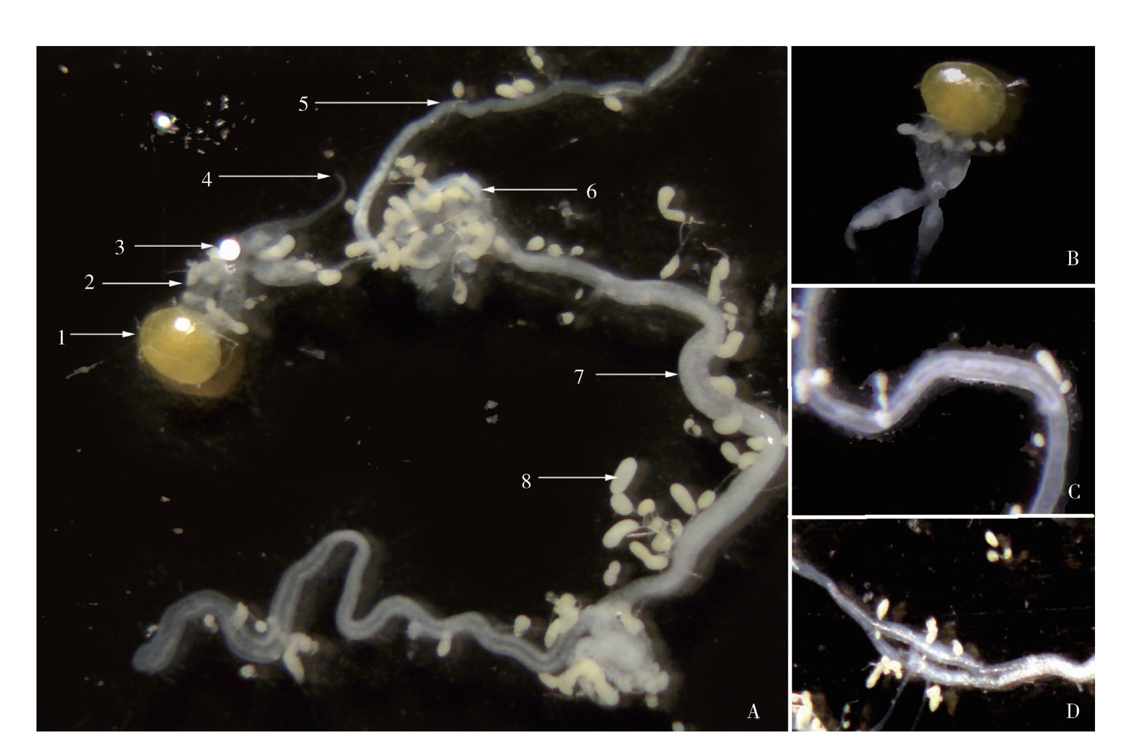


图 1 稻纵卷叶螟雄蛾内生殖系统

Fig. 1 The internal reproductive organs of male adults of *Cnaphalocrocis medinalis*

A：雄蛾内生殖系统 Internal reproductive organs of male adult. 1：精巢 Testis；2：前贮精囊 Anterior seminal vesicles；3：后贮精囊 Posterior seminal vesicles；4：输精管 Vas deferens；5：射精管 Ductus ejaculatorius simple；6：复射精管 Ductus ejaculatorius duplex；7：附腺 Accessory glands；8：脂肪粒 Fat particle. B：精巢与贮精囊 Testis and seminal. C：单射精管 Ductus ejaculatorius simple. D：连接输精管、单射精管和附腺的复射精管 Ductus ejaculatorius duplex, ductus ejaculatorius simple, vas deferens and accessory glands.

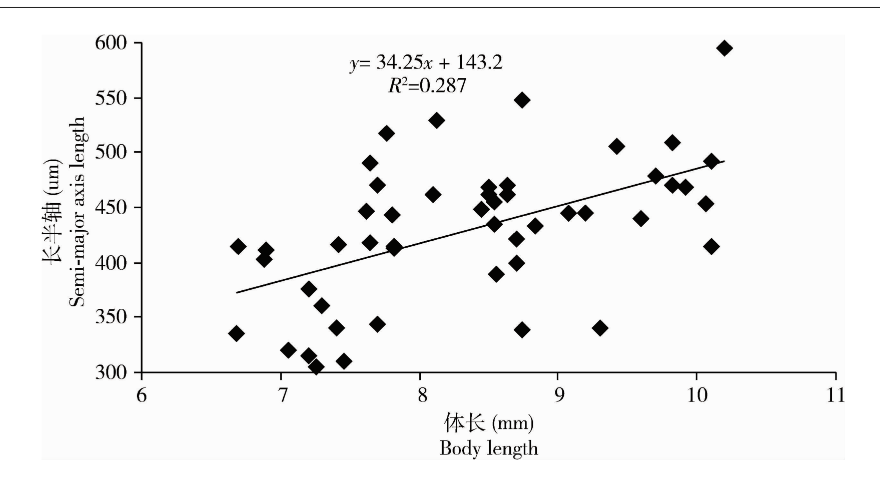


图 2 稻纵卷叶螟 1 日龄雄成虫体长与精巢长半轴长度的相关性

Fig. 2 Correlation between the body length and the semi-major axis length of testes of the 1 day-old male adults of *Cnaphalocrocis medinalis*

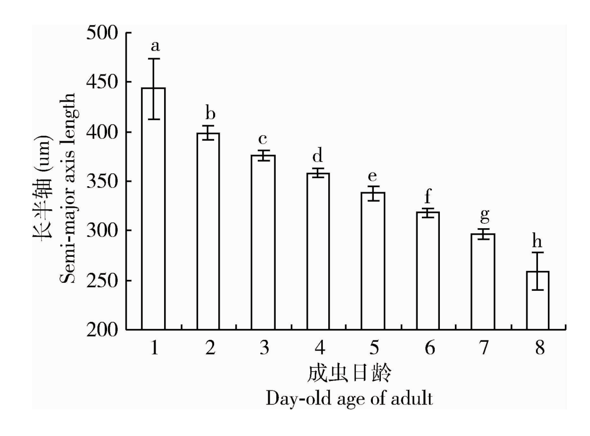


图 3 稻纵卷叶螟 1 – 8 日龄雄蛾精巢长半轴长度

Fig. 3 The semi-major axis length of testes of the 1 – 8 day-old male adults of *Cnaphalocrocis medinalis*

图中数据为平均值 ± 标准差，柱上不同小写字母示各日龄组之间精巢长半轴长度差异显著（$P < 0.01$，One-way ANOVA）。Data in the figure are mean ± *SD*. Different small letters above bars indicate significant differences among different day-old of adults ($P < 0.01$, One-way ANOVA).

表 2 稻纵卷叶螟 1 – 8 日龄雄成虫精巢长半轴长度划分指标

Table 2 Division criterion for the semi-major axis length of testes of the 1 – 8 day-old male adults of *Cnaphalocrocis medinalis*

成虫日龄 Day-old age of adult	精巢长半轴长度范围（μm） Range of the semi-major axis length of testes
1	> 421.1
2	387.6 – 421.1
3	367.3 – 387.6
4	348.0 – 367.3
5	327.9 – 348.0
6	307.4 – 327.9
7	277.8 – 307.4
8	< 277.8

2.4 田间诱捕雄蛾日龄组成

2015 年解剖田间性信息素诱捕稻纵卷叶螟雄蛾 105 头。结果表明，雄蛾比例随日龄先减小后增大再减小，4 日龄出现一个反弹（图 4）。被诱捕的 1 日龄雄蛾数量最多，占总数 19.05%。1 – 4 日龄占比为 61.90%。6 日龄占比迅速下降，为 9.52%，7 日龄占总数的 8.57%，8 日龄仅占 6.67%。2016 年解剖性信息素诱捕稻纵卷叶螟雄蛾 164 头。雄蛾比例随日龄变化趋势与 2015 年相似，3 日龄出现一个转折。被诱捕的 1 日龄雄蛾数量最多，占 29.88%，1 – 4 日龄占总数的 65.24%。

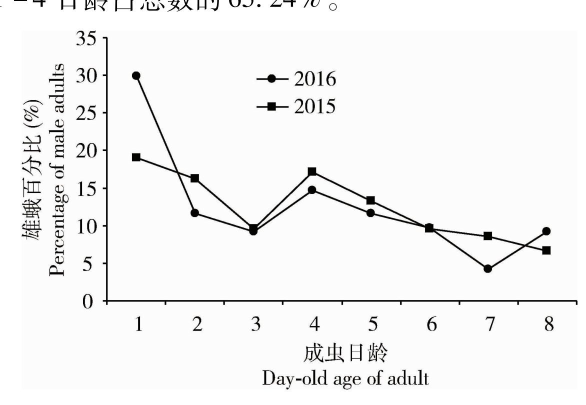


图 4 2015 年在四川眉山和 2016 年在四川自贡田间性诱稻纵卷叶螟 1 – 8 日龄雄蛾比例

Fig. 4 Proportion of the 1 – 8 day-old male adults of *Cnaphalocrocis medinalis* in sex pheromone traps in fields in Meishan, Sichuan in 2015 and Zigong, Sichuan in 2016

2.5 利用田间诱捕数据反演稻纵卷叶螟 1 日龄动态

2015 年 9 月 4 日至 9 月 21 日在眉山中稻田间利用飞蛾诱捕器诱集当地 3 代稻纵卷叶螟，始见期

为9月4日，至15日虫量达最高形成第1峰，9月18日至21日，虫量突增形成第2峰。反演重构后，1日龄雄蛾动态曲线第1峰为9月10日，比未反演提前5 d左右；第2峰为9月14－19日，提前了4 d左右（图5）。

2016年9月5日至10月15日在自贡再生稻田用飞蛾诱捕器诱集当地3代稻纵卷叶螟，9月4日始见3代，两个高峰日分别出现在9月28日和10月10日。根据重构1日龄雄蛾动态，2个高峰日分别提前到9月24日和10月8日（图6）。

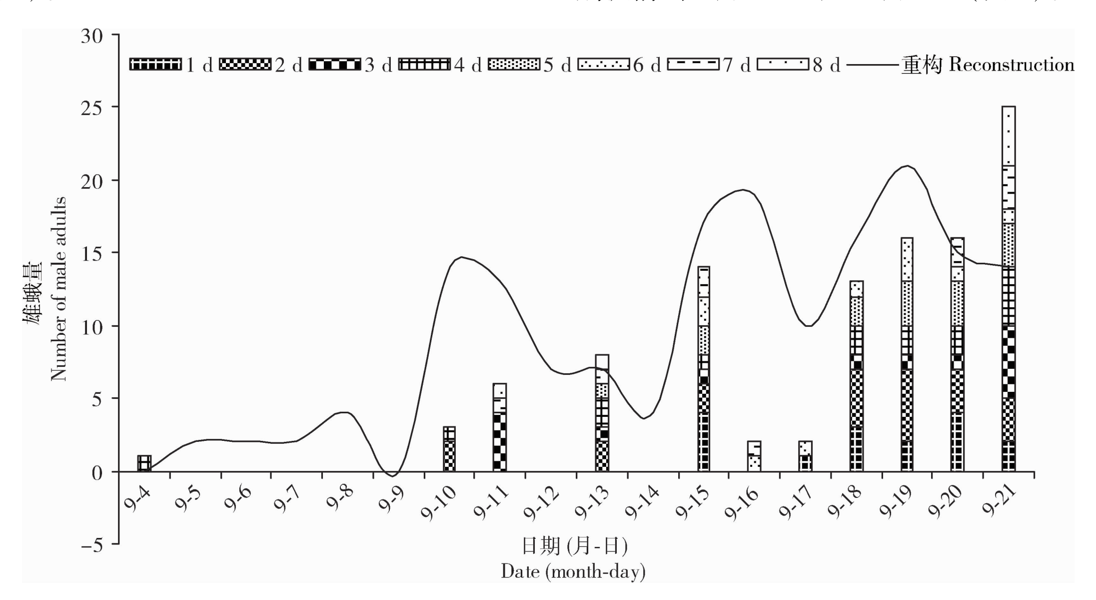


图5 2015年在四川眉山田间逐日性诱稻纵卷叶螟不同日龄雄蛾堆积图和1日龄发生量重构

Fig. 5 The packing diagram of daily number of male adults of *Cnaphalocrocis medinalis* with age structure and the reconstructed dynamics curve of the 1 day-old male adults captured by sex pheromone traps in Meishan, Sichuan in 2015

图6 2016年在四川自贡田间逐日性诱稻纵卷叶螟不同日龄雄蛾堆积图和1日龄发生量重构

Fig. 6 The packing diagram of daily number of male adults of *Cnaphalocrocis medinalis* with age structure and the reconstructed dynamics curve of the 1 day-old male adults captured by sex pheromone traps in Zigong, Sichuan in 2016

3 讨论

3.1 稻纵卷叶螟雄蛾内生殖系统的形态稳定性

稻纵卷叶螟雄蛾内生殖系统各个部分与油桐尺蠖 *Buzura suppressaria*（王问学和王淑芬，1979）、黑纹粉蝶 *Pieris melete*（曹帅等，2012）、二化螟 *C. suppressalis*（宋俊元等，2012）、草地螟 *Loxostege sticticalis*（刘科科等，2013）、茶尺蠖 *E. obliqua*（张家侠等，2015）等鳞翅目其他昆虫的内生殖系统相似，均由精巢（testis）、贮精囊（seminal vesicles）、输精管（vas deferens）、附腺（accessory gland）和射精管（ductus ejaculatorius）组成。稻纵卷叶螟精巢形态与黑纹粉蝶 *P. melete*（曹帅等，2012）、茶尺蠖 *E. obliqua*（张家侠等，2015）相似，成虫期两精巢被包裹在同一膜中，且彼此紧密连接成单一组织。精巢形态为近球形的椭圆，具有一定弹性，正常解剖操作不会影响其外观形态，是一个稳定的检测指标。贮精囊、输精管、附腺、单射精管在解剖过程中其形态会因操作的不同而发生改变，或者因光线条件不一致而颜色不同，复射精管脂肪包裹，均难以定量描述。

3.2 精巢检测可作为日龄判定依据

本文通过解剖室内羽化后的稻纵卷叶螟雄蛾，发现随着羽化天数的增加，成虫精巢逐渐变小，而且有一定的规律性，精巢的动态变化能反映稻纵卷叶螟雄蛾的生长发育状态，末期雄蛾精巢大小比羽化当日减少 41.55%。精巢大小的衰减与羽化日数具有较好的对应关系，可以用作诱捕器中雄蛾日龄的判断标准。有关于昆虫羽化后精巢形态变化的研究的报道，欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* 精巢体积 9 日龄成虫的比 1 日龄成虫的缩小 70% 以上（Panagiotis and David，2009），斜纹夜蛾 *S. litura* 成虫精巢从羽化后直径开始缩短（徐博，2012），小地老虎 *Agrotis ypsilon* 发生尾期精巢大小减少 50%（卢筝，1982），卡尼鄂拉蜂 *Apis mellifera carnica* 雄蜂羽化后 7 d 内，精巢形状由锥形转变为肾形，大小由 5 500 μm ×2 900 μm 收缩至 2 800 μm ×1 600 μm 以下（薛运波等，2006）。因此，本文认为精巢检测还可以用于其他一些重要农业害虫的雄性日龄的判定。

精巢大小与雄蛾精子竞争关系密切，种间个体大小、防卫器官（Clint，2008）、后翅形状（Brett *et al.*，2015）、食物和空间（Ines *et al.*，2014）都与精巢大小有一定关系。然而黄粪蝇 *Scathophaga stercoraria* 体长与精巢大小没有相关性（Paul and Leigh，1991）；对 *Drosophila* 属的雄性果蝇研究表明，影响精巢大小的重要因素为成虫的性成熟程度（Scott *et al.*，1995），过了最佳成熟时期，昆虫的生殖系统开始萎缩。达氏曲突眼蝇 *Cyrtodiopsis dalmanni* 交配次数与精巢大小影响不大，但与附腺的长度关系密切（David *et al.*，2005）。稻纵卷叶螟雄蛾体长对精巢大小有一定的影响，但影响程度有限。雄蛾体长平均值为 8.38 mm，超过 9.38 mm 和少于 7.38 mm 个体数量较少。根据体长与精巢长半轴回归方程（图 2），体长每增加/减少 1 mm，精巢长半轴增加/减少 30.57 μm；而精巢大小减少值第 1 天平均为 44.43 μm，以后逐日减少。因此日龄是影响精巢大小的主要因子。本文认为，虽然影响精巢大小因子较多，但是通过检测代表环境中的稻纵卷叶螟精巢，制定相应的标准，判定同类或近似环境的稻纵卷叶螟雄蛾日龄，能够较好控制判定误差。

3.3 田间诱蛾日龄反演可为监测防控提供依据

本文提出利用逐日性诱雄蛾日龄结构及数量，反演出 1 日龄雄蛾量，能够有效地消除诱捕器中当日诱捕到的老年失去交配能力的雄蛾对测报的影响，同时老年雄蛾的历史交配数据也得到了保留，加之雄蛾日龄都统一到了 1 日龄，这对于提高稻纵卷叶螟的预报准确度和时效性具有积极意义。通过反演重构的稻纵卷叶螟雄蛾动态曲线发生期提前，峰形较好，而且能够一定程度减少降雨对性诱测报的影响。图 5（A）中有许多日期没有数据，9 月 16 和 17 日眉山降雨，雄蛾上诱捕器少，但是反演重构后数据分布更为均匀，与田间自然发生情况较为吻合。16 和 17 日的数据也得到了更好的修复，因为这两日的停飞的雄蛾在日后被重新捕获。从田间诱捕不同日龄稻纵卷叶螟的比例看，1 日龄雄蛾占比最多，而后逐日减少，两年田间结果 1 – 4 日龄占比达 60% 以上。这种现象对于稻纵卷叶螟的测报与防治具有重要意义，在利用性信息素诱杀稻纵卷叶螟时，老年雄蛾对繁殖下一代没有意义，只有年轻雄蛾被诱杀，雌蛾交配的次数才会下降，下一代的种群数量才能够得到有效控制。

参考文献（References）

Bao YX, Wang YP, Yan ML, Yuan CS, Yu XL, 2008. Study on the occurrence pattern of the rice leaf roller and the atmospheric backgrounds of its catastrophic events in 2003. *Sci. Meteor. Sin.*, 28(2): 184 – 189. [包云轩，王永平，严明良，袁成松，于晓

丽, 2008. 2003 年我国稻纵卷叶螟发生特征及其灾变大气背景的研究. 气象科学, 28(2): 184-189]

Bo F, Bao ZJ, Xu YL, Ren SM, Cai HQ, 2012. Improvement on monitoring and forecasting technology of the rice leaf roller. *China Plant Prot.*, 32(7): 42-45. [卜锋, 包志军, 徐优良, 仁寿美, 蔡宏琴, 2012. 稻纵卷叶螟测报技术改进探讨. 中国植保导刊, 32(7): 42-45]

Brett PS, Craig DHS, Mark AE, Tamara LJ, Matthew RES, 2015. Investment in sensory structures, testis size, and wing coloration in males of a diurnal moth species: trade-offs or correlated growth? *Ecol. Evol.*, 5(8): 1601-1608.

Cao S, Shang SQ, Zhang YL, 2012. Anatomy of the reproductive system of *Pieris melete* Ménétriès (Lepidoptera: Pieridae). *J. Northwest A&F Univ.* (*Nat. Sci. Ed.*), 40(9): 77-82. [曹帅, 尚素琴, 张雅林, 2012. 黑纹粉蝶 *Pieris melete* Ménétriès 生殖系统解剖学研究(鳞翅目: 粉蝶科). 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 40(9): 77-82]

Cho JR, Choi KS, Park HH, Lee S, Yum KH, Jung JK, Seo BY, Lee M, 2013. Electroantennogram and field responses of Korean population of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae), to sex attractant candidates. *J. Asia-Pac. Entomol.*, 16(1): 61-66.

Clint DK, 2008. Sperm investment in relation to weapon size in a male trimorphic insect? *Behav. Ecol.*, 19(5): 1018-1024.

David WR, Tracey C, Kevin F, Andrew P, 2005. Mating-induced reduction in accessory reproductive organ size in the stalk-eyed fly *Cyrtodiopsis dalmanni*. *BMC Evol. Biol.*, 5: 37.

Du YJ, 2007. Application of semiochemicals in integrated pest management of vegetable insect pests. *China Veget.*, (1): 35-39. [杜永均, 2007. 化学信息素在蔬菜害虫综合防治中的应用. 中国蔬菜, (1): 35-39]

Fu XW, Li C, Feng HQ, Liu ZF, Chapman JW, Reynolds DR, Wu KM, 2014. Seasonal migration of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae) over the Bohai Sea in northern China. *Bull. Entomol. Res.*, 104(5): 601-609.

Guo R, Han M, Shu F, 2013. Green measures and strategies for reducing pesticide application in paddies. *China Plant Prot.*, 33(10): 38-41. [郭荣, 韩梅, 束放, 2013. 减少稻田用药的病虫害绿色防控策略与措施. 中国植保导刊, 33(10): 38-41]

Henneberry, TJ, Clayton TE, 1984. Time of emergence, mating, sperm movement, and transfer of ejaculatory duct secretary fluid by *Heliothis virescells* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) under reversed light-dark cycle laboratory conditions. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 77(3): 301-305.

Ines K, Carl DS, Heikki H, 2014. Contrasting effects of large density changes on relative testes size in fluctuating populations of sympatric vole species. *Proc. R. Soc. B*, 281: 20141291.

Kawazu K, Kamimuro T, Kamiwada H, Nagatad K, Matsunaga T, Sugie H, FukumotoT, AdatiT, Tatsuki S, 2004. Effective pheromone lures for monitoring the rice leaffolder moth, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Crop Prot.*, 23(7): 589-593.

Kawazu K, Adati T, Yosiyasu Y, Sumiartha K, Susila W, Sudiarta P, Purwanto H, Tatsuki S, 2009. Sex pheromone components of the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae), in Indonesia. *J. Asia-Pacific Entomol.*, 12(2): 97-99.

Kawazu K, Hasegawa J, Honda H, Ishikawa Y, Wakamura S, Sugie H, Kamiwada H, Kamimuro T, Yoshiyasu Y, Tatsuki S, 2000. Geographical variation in female sex pheromones of the rice leaffolder moth, *Cnaphalocrocis medinalis*: identification of pheromone components in Japan. *Entomol. Exp. Appl.*, 96: 103-109.

Laurent P, Frérot B, 2007. Monitoring of European corn borer with pheromone-baited traps: review of trapping system basics and remaining problems. *J. Econ. Entomol.*, 100(6): 1797-1807.

Liang WQ, Qiu SJ, 2007. Breakdown causes of Jiaduo pest forecast light trap and the corresponding improvement measures. *China Plant Prot.*, 27(1): 36-37. [梁伟群, 丘思娟, 2007. 佳多灯在测报应用中出现熄灯原因分析及技术改进意见. 中国植保导刊, 27(1): 36-37]

Liu KK, Xiao YH, Cheng YX, Luo LZ, Xu X, 2013. The structure and morphology of the reproductive system of adult male *Loxostege sticticalis* L. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 50(6): 1692-1699. [刘科科, 肖永红, 程云霞, 罗礼智, 徐湘, 2013. 草地螟雄蛾生殖系统的形态和结构. 应用昆虫学报, 50(6): 1692-1699]

Liu WC, Jiang YY, Zhang YJ, Feng XD, Xia B, Liu Y, Zeng J, 2009. Promotion of the early warning and forecasting system of agricultural pests. *China Plant Prot.*, 29(8): 28-31. [刘万才, 姜玉英, 张跃进, 冯晓东, 夏冰, 刘宇, 曾娟, 2009. 推进农业有害生物监测预警事业发展的思考. 中国植保导刊, 29(8): 28-31]

Liu Y, Wang JQ, Feng XD, Jiang XH, 2008. Occurrence of *Cnaphalocrocis medinalis* in 2007 and the its trend prediction in 2008. *China Plant Prot.*, 28(7): 33-35. [刘宇, 王建强, 冯晓东, 蒋学辉, 2008. 2007 年全国稻纵卷叶螟发生实况分析与 2008 年发生趋势预测. 中国植保导刊, 28(7): 33-35]

Lu Z, 1982. A study on the reproductive system of *Agrotis Ypsilon* Rott. *Acta Entomol. Sin.*, 25(3): 268-275. [卢筝, 1982. 小地老虎生殖系统的研究. 昆虫学报, 25(3): 268-275]

Mcneil JN, 1991. Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps. *Annu. Rev. Entomol.*, 36(1): 407-430.

Panagiotis GM, David AA, 2009. Virgin male age and mating success in *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Anim. Behav.*, 79: 509-514.

Paul IW, Leigh WS, 1991. Copula duration and testes size in the yellow dung fly, *Scathophaga stercoraria* (L.): the effects of diet, body size, and mating history. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 29(2): 77-85.

Ramachandran R, Caballero P, Khan ZR, 1990. Pheromone components of rice leaf folders (LF) *Cnaphalocrocis medinalis* and *Marasmia patnalis*. *Int. Rice Res. Newsl.*, 15: 25-26.

Rao AG, Reddy DDR, Krishnaiah K, Beevor PS, Cork A, Hall DR, 1995. Identification and field optimisation of the female sex pheromone of the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* in India. *Entomol. Exp. Appl.*, 74(3): 195-200.

Scott P, Therese AM, Greg SS, 1995. Delayed male maturity is a cost of producing large sperm in *Drosophila*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 92(9): 10614 – 10618.

Shi YL, Zhang ZG, Li YC, 1964. Application of the anatomy of reproductive system of *Pseudaletia separata* (Walker) and field mating rate in pest forecasting. *J. Shandong Agric. Univ.* (*Nat. Sci. Ed.*), (9): 45 – 54. [石毓亮, 张之光, 李玉椿, 1964. 粘虫 *Pseudaletia separata* (Walker)生殖系统解剖与自然交配及其在实践中的应用. 山东农学院学报(自然科学版), (9): 45 – 54]

Song JY, Hu Y, Fu Q, Zheng YL, 2012. Anatomy of male internal reproductive system of *Chilo suppresalis* Walker. *J. Zhejiang Agric. Sci.*, (5): 686 – 688. [宋俊元, 胡阳, 傅强, 郑永利, 2012. 二化螟雄虫内生殖系统结构的解剖. 浙江农业科学, (5): 686 – 688]

Spurgeon DW, Raulston JR, Lingren PD, 1994. Temporal aspects of sperm transfer and spermatophore condition in Mexican rice borers (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.*, 87(2): 371 – 376.

Wang WX, Wang SF, 1979. Anatomy of internal reproductive system of *Buzura suppressaria* Guenée. *Entomol. Knowl.*, 16(3): 137 – 138. [王问学, 王淑芬, 1979. 油桐尺蠖内生殖系统的解剖. 昆虫知识, 16(3): 137 – 138]

Wu J, Wu X, Chen H, Xu L, Liu G, Mao B, Quo R, Du YJ, 2013. Optimization of the sex pheromone of the rice leaffolder moth *Cnaphalocrocis medinalis* as a monitoring tool in China. *J. Appl. Entomol.*, 137(7): 509 – 518.

Xu B, 2012. Research on the Morphological Structure and Development of *Spodoptera litura* Prothoracic Glands and Gonads. MSc Thesis, Sun Yat-sen University, Guangzhou. [徐博, 2012. 斜纹夜蛾前胸腺与性腺的形态结构和发育研究. 广州: 中山大学硕士学位论文]

Xu LJ, Shao YD, Tang LP, Ni M, Wang CL, 2013. Comparative between sex pheromone trapping and driving moths in forecasting of *Cnaphalocrocis medinalis*. *Modern Agric. Sci. Tech.*, (2): 126 – 127, 130. [徐丽君, 邵益栋, 汤露萍, 倪萌, 王程亮, 2013. 性信息素诱集法与赶蛾法监测稻纵卷叶螟比较研究. 现代农业科技, (2): 126 – 127, 130]

Xue YB, Li ZY, Wang Z, 2006. Study on the development of male internal reproductive system in *Apis mellifera carnica* Pollmann after embryo. *Apic. China*, 57(4): 13 – 15. [薛运波, 李志勇, 王志, 2006. 雄蜂生殖系统胚后生长发育的形态学研究. 中国蜂业, 57(4): 13 – 15]

Yang YJ, Xu HX, Zheng XS, Tian JC, Lu YH, Lu ZX, 2015. Progresses in management technology of rice leaffolders in China. *Acta Phytophyl. Sin.*, 42(5): 691 – 701. [杨亚军, 徐红星, 郑许松, 田俊策, 鲁艳辉, 吕仲贤, 2015. 中国水稻纵卷叶螟防控技术进展. 植物保护学报, 42(5): 691 – 701]

Yao ST, Wu JX, Zheng YL, Jin ZH, Lu ZJ, Hu JJ, Du YJ, 2011. Application of sex pheromone of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in monitoring its population. *Acta Entomol. Sin.*, 54: 490 – 494. [姚士桐, 吴降星, 郑永利, 金周浩, 陆志杰, 胡加君, 杜永均, 2011. 稻纵卷叶螟性信息素在其种群监测上的应用. 昆虫学报, 54(4): 490 – 494]

Zhang JX, Sun QY, Zhao Q, Xia XJ, Ding Y, 2015. Morphological and histological observations on the reproductive system in male adults of *Ectropis obliqua* Prout. *J. Tea Sci.*, 35(6): 527 – 533. [张家侠, 孙钦玉, 赵强, 夏先江, 丁勇, 2015. 茶尺蠖雄成虫生殖系统形态学与组织学观察. 茶叶科学, 35(6): 527 – 533]

Zhang XX, Lu ZQ, Geng JG, 1979. Application of female ovarian dissection on the forecast of *Cnaphalocrocis medinalis*. *Entomol. Knowl.*, 16(3): 97 – 99. [张孝羲, 陆自强, 耿济国, 1979. 稻纵卷叶螟雌蛾解剖在测报上的应用. 昆虫知识, 16(3): 97 – 99]

Zhao JW, He YX, Weng QY, 2008. Application and research of insect light traps in China. *Entomol. J. East China*, 17(1): 76 – 80. [赵建伟, 何玉仙, 翁启勇, 2008. 诱虫灯在中国的应用研究概况. 华东昆虫学报, 17(1): 76 – 80]

Zhou J, Li J, Weng Q, 2012. Morphological and histological observations on the reproductive system of *Holcocerus hippophaecolus*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 9(6): 1629 – 1635. [周娇, 李娟, 翁强, 2012. 沙棘木蠹蛾生殖系统形态学和组织学观察. 应用昆虫学报, 9(6): 1629 – 1635]

（责任编辑：赵利辉）